Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science

SCCS | **CSAS**

Secrétariat canadien de consultation scientifique | **Canadian Science Advisory Secretariat**

Document de recherche 2009/012 | **Research Document 2009/012**

Estimation du taux d'exploitation du stock de morue franche (*Gadus morhua*) du nord du golfe du Saint-Laurent (3Pn,4RS), à partir de données de marquage

Estimation of the exploitation rate of the northern Gulf of St. Lawrence (3Pn,4RS) Atlantic Cod (*Gadus morhua*) stock, based on tagging data

Arnault Le Bris[1], Alain Fréchet[2], Jean-Claude Brêthes[3]

[1]Biology Department, Memorial University of Newfoundland
St. John's (Newfoundland) Canada A1B 3X9

[2] Direction des sciences halieutiques et aquaculture / Fishery and Aquaculture Science Branch
Ministère des Pêches et des Océans / Department of Fisheries and Oceans
Institut Maurice-Lamontagne / Maurice Lamontagne Institute
850, route de la mer
Mont-Joli (Québec) Canada G5H 3Z4

[3]Institut des sciences de la mer de Rimouski
310 Allée des Ursulines, C.P. 3300
Rimouski (Québec) Canada G5L 3A1

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Les documents de recherche sont publiés dans la langue officielle utilisée dans le manuscrit envoyé au Secrétariat.

Ce document est disponible sur l'Internet à:

This series documents the scientific basis for the evaluation of aquatic resources and ecosystems in Canada. As such, it addresses the issues of the day in the time frames required and the documents it contains are not intended as definitive statements on the subjects addressed but rather as progress reports on ongoing investigations.

Research documents are produced in the official language in which they are provided to the Secretariat.

This document is available on the Internet at:

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/

ISSN 1499-3848 (Printed / Imprimé)
ISSN 1919-5044 (Online / En ligne)
© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2009
© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2009

Canada

TABLE DES MATIÈRES / TABLE OF CONTENTS

Résumé/*Abstract* V

1. INTRODUCTION 1

2. MATERIELS ET MÉTHODES / *MATERIAL AND METHODS* 5

2.1. Présentation des données / *Presenting the data* 5
2.1.1. Campagne de pêches sentinelles / *Sentinel Fisheries Campaign* 5
2.1.2. Taille à la recapture / *Size at Recapture* 8
2.1.3. Position de marquage et de recapture / *Positions of Tagging and Recapture* 8

2.2. Analyse des données / *Data Analysis* 9
2.2.1. Estimation du taux de pertes d'étiquettes / *Estimation of the Tag Loss Rate* 10
2.2.2. Estimation du taux de retour d'étiquettes / *Estimation of the Tag Return Rate* 11
2.2.3. Correction du nombre d'individus recapturés / *Correction of the Number of Individuals Recaptured* 12
2.2.4. Estimation du taux d'exploitation / *Estimation of the Exploitation Rate* 13

3. RESULTATS / *RESULTS* 15

3.1. Taux de pertes d'étiquettes / *Tag Loss Rate* 15

3.2. Taux de retour d'étiquettes / *Tag Return Rate* 16

3.3. Nombre corrigé d'individus recapturés / *Corrected Number of Individuals Recaptured* 17

3.4. Taux d'exploitation / *Exploitation Rate* 17
3.4.1. Divisions 3Pn et 4RS regroupées / *Divisions 3Pn and 4RS Combined* 17
3.4.2. Divisions 3Pn et 4RS séparées / *Divisions 3Pn and 4RS Separate* 19
3.4.3. Patron rétrospectif / *Retrospective Pattern* 20

4. DISCUSSION 23

4.1. Mélange de stock et sous population locale / *Stock Mixing and Local Sub-Population* 23

4.2. Taux de pertes d'étiquettes / *Tag Loss Rate* 23

4.3. Taux de retour d'étiquettes / *Tag Return Rate* 24

4.4. Taux d'exploitation / *Exploitation Rate* 26

5. CONCLUSIONS 28

Références / *References* 29

Annexes / *Appendices* 32

La présente publication doit être citée comme suit :

Le Bris A., Fréchet A., Brêthes J.-C. 2009. Estimation du taux d'exploitation du stock de morue franche (*Gadus morhua*) du nord du golfe du Saint-Laurent (3Pn,4RS), à partir de données de marquage. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2009/012. v + 35p.

RÉSUMÉ

Malgré l'instauration de deux moratoires, de 1994 à 1996 et en 2003, la biomasse du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent (zones 3Pn et 4RS) reste basse. Les faibles quotas actuels sont jugés trop élevés par les biologistes en charge de l'évaluation de l'état du stock. Il est alors important de mesurer adéquatement le taux d'exploitation. Ce taux est généralement estimé à l'aide d'une analyse séquentielle de population. L'objectif de cette étude est d'évaluer le taux d'exploitation à l'aide d'une méthode indépendante basée sur l'analyse de données de marquage. Les résultats montrent une concordance entre les données de marquage et l'analyse séquentielle de population. En 2007, le taux d'exploitation du stock atteint les 30 %, valeur trop élevée pour permettre le rétablissement. Il semble que la subdivision 3Pn est plus exploitée que la subdivision 4RS. La répétition et l'approfondissement de cette étude apparaissent nécessaires pour une meilleure estimation du taux d'exploitation et d'autres paramètres de population comme la survie.

Correct citation for this publication:

Le Bris A., Fréchet A., Brêthes J.-C. 2009. Estimation of the exploitation rate of the northern Gulf of St. Lawrence (3Pn,4RS) Atlantic Cod (*Gadus morhua*) stock, based on tagging data. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/012. v + 35p.

ABSTRACT

Even with the introduction of two moratoriums, from 1994 to 1996 and in 2003, the Atlantic cod stock biomass in the Northern Gulf of St. Lawrence (Areas 3Pn and 4RS) remains low. Biologists in charge of assessing stock status consider the current low quotas as still too high. Therefore, it is important to properly measure the exploitation rate. The rate is usually estimated using a sequential population analysis. The study's objective is to evaluate the exploitation rate using an independent method based on the analysis of tagging data. Results between the tagging data and the sequential population analysis are consistent. In 2007, the stock's exploitation rate reached upwards of 30%, a value that was higher than the targeted 18% required for recovery. It seems that subdivision 3Pn is more exploited than subdivision 4RS. Repeating this study along with increased analysis appears to be necessary in order to better estimate the exploitation rate and other population parameters such as survival.

1 – INTRODUCTION

Comme tous les stocks de morue (*Gadus morhua*) de l'Atlantique Canadien (Myers *et al.* 1996), le stock du nord du golfe du Saint-Laurent a connu un effondrement depuis le milieu des années 1980. Alors qu'en 1983, la biomasse de morue dans le stock du nord du golfe du Saint-Laurent (3Pn,4RS) était estimée à plus de 600 000 tonnes, celle-ci n'était plus que d'approximativement 40 000 tonnes en 1993 (MPO, 2007). Ce constat d'effondrement du stock a entraîné la fermeture de la pêche par l'instauration d'un premier moratoire de 1994 à 1996 puis d'un second en 2003. En 2007, le quota de pêche était limité à 7 000 tonnes. L'effort de pêche intensif, à l'aide d'engins mobiles (essentiellement des chaluts) et d'engins fixes (palangre et filets maillant), est considéré comme la principale cause du déclin de la population de morue dans cette région (Myers *et al.* 1996).

Cependant en plus d'un effort de pêche intensif, les conditions océanographiques froides, à partir du milieu des années 1980 jusqu'au début des années 1990, ont entraîné une variation des caractéristiques biologiques de la morue et notamment une diminution de la croissance, de la condition et de la taille et de l'âge à la maturité sexuelle (Lambert et Dutil 1997). Ces changements de conditions ont eu un impact négatif sur la production d'œufs et sur la mortalité naturelle. On peut penser que le couplage d'un effort de pêche intensif et de conditions environnementales défavorables a entraîné le déclin brutal du stock (Ouellet 1997, Lambert et Dutil 1997).

La mise en place d'un moratoire sur la pêche à la morue pendant les années 1994, 1995 et 1996 semble avoir permis une légère reconstruction du stock avec une biomasse reproductrice estimée à environ 26 000 tonnes en 1997 alors qu'elle était estimée à 11 000 tonnes en 1994. Le poids et la taille à l'âge des morues recapturées durant la deuxième moitié des années 1990

1 – INTRODUCTION

As with all Canadian Atlantic cod (*Gadus morhua*) stocks (Myers *et al.* 1996), the Northern Gulf of St. Lawrence stock has collapsed since the mid 1980s. In fact, the biomass of cod from the Northern Gulf of St. Lawrence stock (3Pn,4RS) was estimated at over 600,000 tons in 1983, but dropped to no more than approximately 40,000 tonnes in 1993 (DFO, 2007). This stock collapse led to the closing of the fishery with the introduction of a first moratorium from 1994-1996 and a second one in 2003. In 2007, the fishing quota was limited to 7,000 tonnes. The intense fishing effort, with mobile gear (mostly trawls) and fixed gear (longlines and gillnets), is considered as the main cause for the decline of the cod population in this region (Myers *et al.* 1996).

However, in addition to an intense fishing effort, the cold oceanographic conditions, from the mid 1980s to the early 1990s, caused biological characteristics in cod to vary, in particular a decrease in terms of growth, condition and size at sexual maturity (Lambert and Dutil 1997). These changes in condition had a negative impact on egg production and on natural mortality. It is likely that the combination of intense fishing with unfavourable environmental conditions led to the stock's sharp decline (Ouellet 1997, Lambert and Dutil 1997).

The introduction of a cod fishing moratorium in 1994, 1995 and 1996 appears to have led to the stock's small reconstruction where reproductive biomass increased to 26,000 tonnes in 1997, from the low of 11,000 tonnes in 1994. Weight and size at age of recaptured cod during the second half of the 1990s increased, which suggests an improvement in terms of growth (DFO

ont augmenté suggérant une amélioration de la croissance (MPO 2008). Cependant, ces valeurs demeurent relativement loin des niveaux observés avant l'effondrement du stock et de nouvelles mesures de gestion de pêche ont été mises en place afin de préserver la population. Avant le premier moratoire sur la pêche à la morue, l'exploitation du stock était caractérisée par une activité hivernale intense dominée par une centaine de chalutiers. A la réouverture de la pêche en 1997, la reprise de l'activité fut autorisée de juillet à novembre et uniquement pour les engins fixes, comme le filet maillant et la palangre.

2008). However, these values are still relatively far from the levels observed prior to the collapse of the stock and new management measures were implemented in order to safeguard the population. Before the first cod fishing moratorium, stock exploitation was characterized by an intense winter activity dominated by about one hundred trawlers. When the fishery reopened in 1997, activities were authorized from July to November and only for fixed gear, such as gillnets and longlines.

Afin de maintenir l'activité de pêche à la morue dans le golfe du Saint-Laurent, une évaluation précise de l'état du stock et de sa réaction vis-à-vis des différentes mesures de gestion instaurées est nécessaire. L'évaluation du stock vise à estimer, tous les ans, le recrutement, la biomasse, la biomasse reproductrice, la croissance, la fécondité, la mortalité naturelle et le taux d'exploitation. Cette évaluation, basée sur les relevés scientifiques et sur les débarquements, consiste principalement en une analyse séquentielle de population (ASP) réalisée avec le logiciel ADAPT. Lors des années de moratoire, d'autres données étaient nécessaires pour évaluer l'état du stock. Le programme des pêches sentinelles a donc été crée en 1994 à la suite des recommandations du Conseil pour la Conservation des Ressources Halieutiques (CCRH). L'objectif principal de ce programme est de fournir, avec l'aide des pêcheurs, des séries temporelles d'indices de biomasse qui puissent être utilisées lors du processus annuel d'évaluation des stocks de morue.

In order to maintain cod fishing activities in the Gulf of St. Lawrence, precise assessments of the stock status as well as its reaction to different management measures introduced are required. The stock assessment is conducted annually to estimate recruitment, recruited biomass, reproductive biomass, growth, fecundity, natural mortality and exploitation rate. This assessment, based on scientific surveys and landings, mainly involves a sequential population analysis (SPA) carried out with the ADAPT software. During the moratorium years, other data were required to evaluate the stock status. The sentinel fisheries program was thus introduced in 1994 following the recommendations from the Fisheries Resource Conservation Council (FRCC). This program's main objective is to provide, in conjunction with the industry, a time series of biomass indices that can be used for the annual cod stock assessment process.

L'estimation du taux d'exploitation à partir des captures commerciales, dans le cas de l'ASP, pose de nombreux problèmes dans le processus d'évaluation de stock et fait souvent l'objet de débats entre les différents acteurs. Afin de pouvoir estimer le taux d'exploitation du stock de façon

Estimating the exploitation rate from commercial catches, in the case of the SPA, poses many problems in the stock assessment process and is often the subject of debate between the different stakeholders. In order to estimate the stock's exploitation rate independent of

indépendante des captures commerciales rapportées, un programme de marquage au sein des pêches sentinelles a été mis place. L'objectif secondaire de ce programme est de pouvoir identifier plus en détail le comportement de migration du stock, le mélange avec le stock 3Ps et la présence de stock locaux. Le programme de marquage des pêches sentinelles permet de diversifier les méthodes d'évaluation du stock.

reported commercial catches, a tagging program within sentinel fisheries was introduced. This program's second objective is to identify in more detail this stock's migratory behaviour, the mixing with the 3Ps stock and the presence of local stock. The sentinel fisheries tagging program brings more diversity to the stock assessment methods.

Les expériences de marquage sont communément utilisées pour estimer d'importants paramètres de population comme la survie, les migrations et l'exploitation (Hearn *et al.* 1998, Cadigan et Brattey 2003, 2006, Yvelin *et al.* 2005). Cadigan et Brattey (2006) considèrent que les expériences de marquage sont les méthodes les plus pratiques et les plus réalisables pour évaluer les stocks de poissons qui sont difficiles à surveiller à l'aide de méthodes acoustiques ou de chalutage ce qui est le cas de la morue franche. Cette espèce se disperse en bonne partie le long de la côte, endroit non accessible au chalut et son comportement migratoire la rend souvent difficile à suivre par des méthodes acoustiques. Même si le couplage de ces deux méthodes permet de pallier la présence de zones non chalutables et de zones acoustiques mortes (McQuinn *et al.* 2005), les expériences de marquage restent pour le moment les plus facilement réalisables (Cadigan et Brattey, 2006).

Tagging experiments are commonly used for estimating significant population parameters such as survival, migration and exploitation (Hearn *et al.* 1998, Cadigan and Brattey 2003, 2006, Yvelin *et al.* 2005). Cadigan and Brattey (2006) consider tagging experiments to be the most practical and achievable methods for assessing fish stocks that are difficult to monitor with acoustic or trawling methods, which is the case for Atlantic cod. This species is mostly distributed along the coast, which is inaccessible for trawls, and their migratory behaviour makes them difficult to monitor with acoustic methods. Although combining these two methods can offset untrawlable and acoustic dead areas (McQuinn *et al.* 2005), tagging experiments are currently the easiest to conduct (Cadigan and Brattey, 2006).

Cependant, l'estimation du taux d'exploitation d'un stock de poisson à partir de données de marquage présente deux problèmes majeurs. Le premier est qu'un certain nombre d'étiquettes peuvent se décrocher pendant la durée de vie en liberté des poissons. Le second est que malgré les campagnes informatives et les récompenses offertes pour le retour des étiquettes, un certain nombre d'étiquettes ne sont pas retournées (Jones 1977, Cadigan et Brattey 2003). Ces deux problèmes biaisent le nombre d'individus

Estimating the exploitation rate of a fish stock based on tagging data presents two major problems: first, a certain number of tags can fall off during the free-range period of a fish. Second, although there are information campaigns and rewards for returning lost tags, a certain number of tags are not returned (Jones 1977, Cadigan and Brattey 2003). These two issues skew the number of tagged individuals that are recaptured and distort exploitation rate estimates. It is necessary to correct the number of individuals recaptured by

marqués qui sont recapturés et faussent les estimations de taux d'exploitation. Il est nécessaire de corriger le nombre d'individus recapturés par les estimations du taux de pertes et de retour d'étiquettes.

estimating the tag loss and tag return rates.

L'objectif de cette étude est d'estimer le taux d'exploitation du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent, subdivision 3Pn et 4RS, à partir des données de marquage et de comparer les résultats avec ceux obtenus par l'analyse séquentielle de population. Cette étude développe une nouvelle méthode indépendante des données des débarquements pour l'estimation du taux d'exploitation du stock de morue franche (*Gadus morhua*) dans le nord golfe du Saint-Laurent.

This study's objective is to estimate the exploitation rate of the Northern Gulf of St. Lawrence cod stock, subdivision 3Pn and 4RS, from the tagging data and compare the results with those obtained with the sequential population analysis. This study will develop a new method independent from landing data for estimating the exploitation rate of the Northern Gulf of St. Lawrence Atlantic cod (*Gadus morhua*) stock.

2. MATERIELS ET METHODES

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Présentation des données

2.1. Presenting the Data

2.1.1. Campagnes de marquage des pêches sentinelles

2.1.1. Sentinel Fisheries Tagging Campaign

Depuis 1995, le programme de marquage des pêches sentinelles a permis d'étiqueter un grand nombre de morues au sein du stock du nord du golfe du Saint-Laurent (nGSL). Le marquage est effectué par les pêcheurs à l'aide d'étiquettes de type Floy « T-bar ». Lors du marquage ainsi que lors de la recapture les pêcheurs doivent noter la taille du poisson, la position, le type d'engin utilisé, la date et le numéro de série (http://www.osl.gc.ca). Plusieurs types d'étiquettes ont été utilisés lors des campagnes de marquage : des étiquettes simples, des étiquettes doubles et des étiquettes de hautes récompenses de couleurs différentes.

Since 1995, the sentinel fisheries tagging campaign has tagged a large number of cod within the Northern Gulf of St. Lawrence stock (nGSL). Tagging is done by fishermen using "T-bar" Floy type tags. When tagging and recapturing, fishermen must record the size of the fish, the location, the type of gear used, the date and the serial number (http://www.osl.gc.ca). Several types of tags were used during the tagging campaign, such as single tags, double tags and different colour high-value tags.

La base de données des campagnes de marquage des pêches sentinelles comprend au total 5321 individus recapturés pour 74 234 marqués (Tableaux 1 et 2). L'objectif de l'étude se concentrant sur les divisions 3Pn et 4RS, tous les individus recapturés dans d'autres divisions n'ont pas été analysés dans cette étude.

The sentinel fisheries tagging campaign database includes a total of 5,321 recaptured individuals for 74,234 tagged (Tables 1 and 2). The study's objective is concentrated in Divisions 3Pn and 4RS and individuals recaptured in other areas were not analysed in this study. Any inconsistent data, such as identical serial numbers or

Toutes les données aberrantes, comme des numéros de séries identiques ou des positions de recapture sur la terre ferme, ont été supprimées.

recapture positions on land, was deleted.

Tableau 1 : Nombre d'individus marqués lors des campagnes de pêches sentinelles de 1996 à 2007, classés selon les années, les régions et les types d'étiquettes

Table 1: Summary of cod tagged by sentinel fisheries from 1996 to 2007, by area and tag type

Année / *Year*	Région / *Area*	Simple	Double	Hautes valeurs / *High-Reward*	Total
1995	3Pn	508	3	0	511
	4RS	1899	0	0	1899
1996	3K	122	1	0	123
	3Pn	4167	3	0	4170
	3Ps	203	0	0	203
	4RS	9184	154	0	9338
1997	3Pn	1279	0	0	1279
	3Ps	6	0	0	6
	4RS	5563	40	0	5603
1998	3Pn	363	1	0	364
	3Ps	42	0	0	42
	4RS	6279	151	0	6430
1999	3Pn	1932	135	0	2067
	3Ps	11	4	0	15
	4RS	4780	424	0	5204
2000	3Pn	2661	264	0	2925
	4RS	4683	421	212	5316
2001	3Pn	2582	220	271	3073
	4RS	3793	378	0	4171
2002	3Pn	3188	246	0	3434
	4RS	1936	193	0	2129
2003	3Pn	1995	95	0	2090
	4RS	357	5	0	362
2004	3Pn	1072	525	90	1687
	4RS	0	0	0	0
2005	3Pn	1086	288	135	1509
	4RS	2231	252	0	2483
2006	3Pn	477	352	525	1354
	4RS	1459	124	300	1883
2007	3Pn	550	0	75	625
	4RS	2470	451	516	3937
Total		67378	4730	2124	74232

Tableau 2: Nombre d'individus recapturés de 1996 à 2007, classés selon l'année, la région et le type d'étiquettes

Table 2: Summary of cod recaptured from 1996 to 2007, by, area and tag type

Année / *Year*	Région / *Area*	Simple	Double	Hautes valeurs / *High-Reward*	Total
1996	3Pn	19	1	0	20
	3Ps	4	0	0	4
	4RS	29	1	0	30
1997	3Pn	114	0	0	114
	3Ps	37	0	0	37
	4RS	99	0	0	99
1998	3L	1	0	0	1
	3Pn	108	1	0	109
	3Ps	48	1	0	49
	4RS	111	6	0	117
	4Vn	1	0	0	1
1999	2J	1	0	0	1
	3K	2	0	0	2
	3L	5	0	0	5
	3Pn	87	11	0	98
	3Ps	72	8	0	80
	4RS	198	25	0	223
	4T	1	0	0	1
2000	3K	2	0	0	2
	3L	1	0	0	1
	3Pn	100	6	0	106
	3Ps	49	6	0	55
	4RS	245	32	0	277
	4T	1	1	0	2
2001	3K	1	0	0	1
	3Pn	169	16	25	210
	3Ps	39	4	3	46
	4RS	261	28	33	322
2002	3Pn	335	32	4	371
	3Ps	25	7	4	36
	4RS	269	39	8	316
2003	3Pn	29	4	0	33
	3Ps	27	3	0	30
	4RS	27	3	0	30
2004	3L	3	0	0	3
	3Pn	184	40	7	231
	3Ps	57	12	1	70
	4RS	98	29	6	133
	4T	1	0	0	1
2005	3Pn	281	75	16	372
	3Ps	53	18	5	76
	4RS	174	33	7	214
	4T	2	0	0	2
2006	3L	2	0	1	3
	3Pn	198	55	98	351
	3Ps	34	10	13	57
	4RS	216	55	56	327
2007	3Pn	101	20	30	151
	3Ps	8	1	6	15
	4RS	333	67	86	486
Total		4262	650	409	5321

2.1.2. Taille à la recapture

Le concept de recrutement, c'est-à-dire l'entrée dans la pêche des individus d'une certaine taille, est très importante dans l'étude de dynamique des populations. L'exploitation d'un stock va dépendre de la taille des individus qui le composent. La taille des poissons recapturés lors des campagnes des pêches sentinelles (Figure 1) varie entre 38cm et 110 cm avec un nombre maximal de poissons dans la gamme de taille comprise entre 47,5cm et 67,5 cm. Les individus de taille inférieure à 41 cm, taille minimale réglementaire, n'ont pas été pris en compte dans les calculs de taux d'exploitation.

2.1.2. Size at Recapture

The concept of recruitment, i.e. individuals of a certain size entering the fishery, is very important in the study of population dynamics. The exploitation of a stock depends on the size of individuals that make it up. The size of recaptured fish during the sentinel fisheries campaign (Figure 1) varied between 38cm and 110cm with a maximum number of fish ranging between 47.5cm and 67.5cm. This size range corresponds to fully recruited individuals. Individuals measuring 41cm or less, or the minimum legal size, were not included when calculating the exploitation rate.

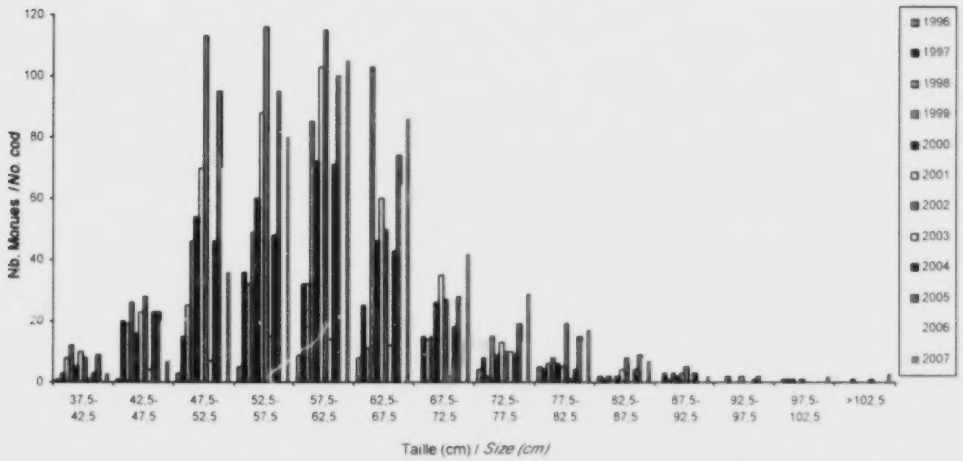


Figure 1 : Taille (cm) des morues recapturées lors des campagnes de pêches sentinelles de 1996 à 2007

Figure 1: Size (cm) of tagged cod at time of recapture by sentinel fisheries from 1996 to 2007

2.1.3. Position de marquage et de recapture

À partir des données de latitude et de longitude obtenues lors des expériences de marquage et de recapture, des cartes géo-référencées ont été tracées à l'aide du

2.1.3. Positions of Tagging and Recapture

Using latitude and longitude data obtained during tagging and recapture experiments, geo-referenced maps were made with the ArcGIS 9.x® software. The tagging

logiciel ArcGIS 9.x®. Les positions de marquage de 1995 à 2007 sont réparties essentiellement en régions côtières avec deux zones d'abondances de marquage dans la zone 3Pn et au nord de la zone 4R au niveau du détroit de Belle-Isle (Figure 2a). Les recaptures effectuées de 1996 à 2007 sont aussi essentiellement en positions côtières, cependant réparties plus largement tout le long des côtes ouest et sud de Terre-Neuve (Figure 2b). Des cartes des positions des recaptures, prenant en compte la densité d'individus, sont fournies en annexe 1.

positions from 1995 to 2007 were mostly distributed in coastal areas with two abundant tagging areas in Area 3Pn and north of Area 4R around the Strait of Belle Isle (Figure 2a). Recaptures made from 1996 to 2007 were also mostly in coastal positions, though distributed more generally along the western and southern coast of Newfoundland (Figure 2b). Position maps of the recaptures are provided in Appendix 1, which account for the density of individuals.

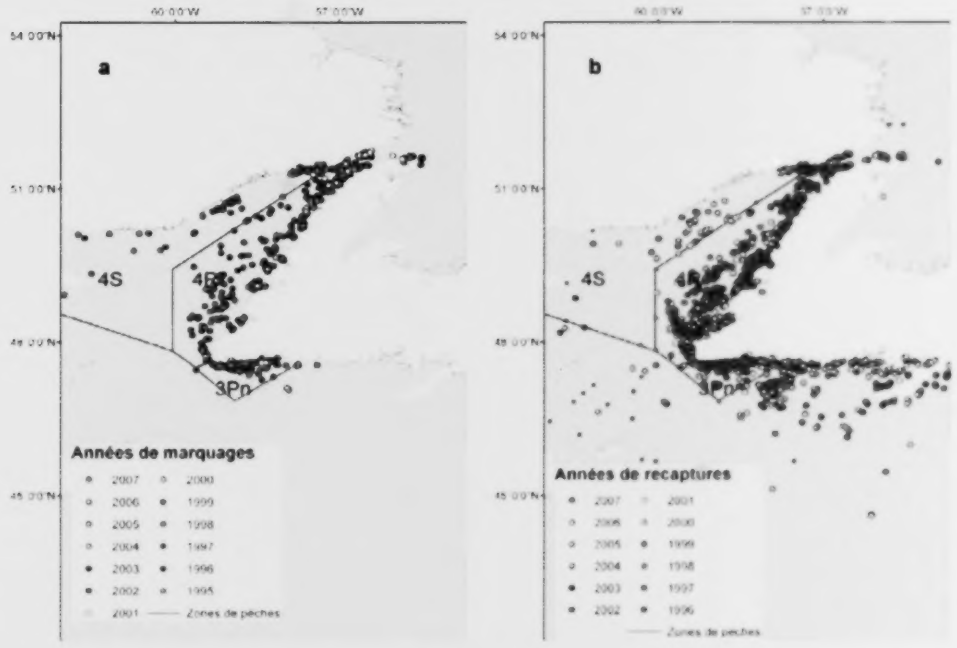


Figure 2 : Cartes des positions de marquage (a) et de recapture (b)
Figure 2: Tagging (a) and recapture (b) positions

2.2. Analyse des données

L'estimation du taux d'exploitation d'un stock de poissons à partir de données de marquage doit nécessairement prendre en compte le nombre d'étiquettes perdues lors de la vie en liberté des individus marqués et le nombre d'étiquettes qui ne sont pas

2.2. Data Analysis

The estimation of the exploitation rate of a fish stock based on tagging data must necessarily take into account the number of tags lost during the free-range period of tagged individuals and the number of unreturned tags by fishermen (Jones 1977,

retournées par les pêcheurs. (Jones 1977, Seber 1982, Hearn *et al.* 1998, Cadigan et Brattey, 2003, 2006).

2.2.1. Estimation du taux de pertes d'étiquettes

Pour différentes raisons (étiquettes mal posées, arrachage des étiquettes par les filets...), des poissons perdent leur marque au cours de leur vie en liberté. Ceci induit une diminution du nombre de poissons marqués disponibles pour la pêche, et donc une sous-estimation du taux d'exploitation (Seber, 1982). Il est alors nécessaire d'estimer le taux auquel les morues perdent leur marque. Ceci peut-être estimé en examinant la proportion d'étiquettes perdues sur les poissons doublement marqués. Dans un premier temps on calcule la proportion d'étiquettes perdues en fonction du temps en liberté (qui correspond au temps écoulé entre le marquage et la recapture) à l'aide du modèle introduit par Chapman *et al.* (1965), cités par Kirkwood (1981) puis par Cadigan et Brattey (2003, 2006). Dans ce modèle, on définit:

t = temps au milieu de la durée de vie en liberté

n_{dd} = nombre d'individus recapturés avec les deux étiquettes durant la période t

n_{ds} = nombre d'individus recapturés avec seulement une marque sur deux durant la période t

La proportion d'étiquettes perdues sur la période centrée t est :

$$Pt = \frac{n_{ds}}{n_{ds} + 2n_{dd}}$$

Par la suite, une régression non linéaire est effectuée à l'aide du logiciel XLStat® entre les proportions d'étiquettes perdues et les temps de liberté. Pour cette régression, un modèle logarithmique a été choisi. Selon

Seber 1982, Hearn *et al.* 1998, Cadigan and Brattey, 2003, 2006).

2.2.1. Estimation of the Tag Loss Rate

Fish lose their tags during their free-range period. This results in a decrease in the number of tagged fish available to the fishery, and therefore an underestimation of the exploitation rate (Seber, 1982). It is thus important to estimate the rate at which cod lose their tags. This can be estimated by examining the rate of single tag loss in double tagged fish. First, the proportion of tags lost is calculated according to free-range time (which corresponds to the time elapsed between tagging and recapture) based on the model introduced by Chapman *et al.* (1965), quoted by Kirkwood (1981) and by Cadigan and Brattey (2003, 2006). In this model:

t = time in the middle of the free-range period

n_{dd} = number of individuals recaptured with both tags during the t period

n_{ds} = number of individuals recaptured with only one tag out of two during the t period

Therefore, the proportion of lost tags in the t period is:

$$Pt = \frac{n_{ds}}{n_{ds} + 2n_{dd}}$$

A non-linear regression is then made with the XLStat® software between the proportions of lost tags and the free-range periods. For this regression, a logarithmic model was chosen. According, to Selon

Kirkwood (1981) et Cadigan et Brattey (2003, 2006), le taux de pertes d'étiquettes suit une distribution logarithmique. Il est à noter que par manque de données, les temps en liberté supérieurs à six années ont été supprimés.

Kirkwood (1981) and Cadigan and Brattey (2003, 2006), the tag loss rate follows a logarithmic distribution. It should be noted that due to a lack of data, free-range periods exceeding six years were deleted.

2.2.2. Estimation du taux de retour d'étiquettes

Un autre problème, lorsque l'on travaille avec des données de marquage, est que de nombreuses étiquettes ne sont pas retournées. Ceci peut biaiser l'estimation du taux d'exploitation d'un stock de poissons. Il convient alors, après avoir estimé le taux de pertes d'étiquettes, d'estimer le taux de non-retour d'étiquettes. La méthode la plus largement utilisée est la méthode des étiquettes de hautes valeurs (Myers et *al.* 1996, Hearn *et al.* (1999), Cadigan *et* Brattey (2006). Cette méthode, développée par Henny et Burnham (1976), est basée sur l'hypothèse que le taux de retour des étiquettes de hautes valeurs (soit 100 $, ici) est de 100 %. Cette hypothèse semble fiable. En effet Cadigan et Brattey (2003), d'après un sondage téléphonique auprès des communautés de pêcheurs, font mention d'un nombre infime d'étiquettes de hautes valeurs non retournées. Le modèle utilisé dans cette étude est celui développé par Hearn et *al.* (1999) selon lequel le taux de retour λ pour une marque de type *i* est :

2.2.2. Estimation of the Tag Return Rate

Another issue when working with tagging data is that a number of tags are unreturned. This can skew the estimation of a fish stock's exploitation rate. Therefore, after estimating the tag loss rate, an estimate of the tag return rate must be established. The most widely used method is the high-value method (Myers *et al.* 1996, Hearn *et al.* (1999), Cadigan and Brattey (2006). This method, developed by Henny and Burnham (1976), is based on the theory that the high-value tag return rate (in this case $100) is 100%. This theory appears to be reliable. In fact, Cadigan and Brattey (2003), following a telephone survey within the fishermen community, noted that there were only a very small number of unreturned high-value tags. The Hearn et *al.* (1999) model was used in this study and according to this model, the return rate λ for an *i* type tag is:

$$\lambda_i = \frac{r_i \times c_i}{r_i \times c_i}$$

$$\lambda_i = \frac{r_i \times c_i}{r_i \times c_i}$$

Où r_i = nombre d'étiquettes de type i recapturées

Where r_i = number of *i* type tags recaptured

c_i = nombre d'étiquettes de type i posées

c_i = number of *i* type tags installed

r_1 = nombre d'étiquettes de hautes valeurs recapturées

r_1 = number of high-value tags recaptured

c_1 = nombre d'étiquettes de hautes valeurs posées

c_1 = number of high-value tags installed

Le taux de non-retour d'étiquettes est alors $1 - \lambda_i$

Therefore, the tag non-return rate is $1 - \lambda_i$

Il est nécessaire de calculer un taux de non-retour pour les étiquettes simples et les étiquettes doubles. Ce taux est estimé dans un premier temps en regroupant les zones de pêches 3Pn et 4RS, puis dans un second temps, pour la zone 3Pn et la zone 4RS prises séparément. Il est à noter qu'à la vue du nombre d'étiquettes doubles posées et récupérées, un seul taux de retour d'étiquettes a été estimé pour l'ensemble des années disponibles, malgré les possibles variations interannuelles. Seules les années où des étiquettes de hautes valeurs ont été posées ont été considérées dans le calcul du taux de non-retour d'étiquettes.

A non-return rate for single and double tags must be calculated. This rate is estimated by first combining fishery Areas 3Pn and 4RS, and then Area 3Pn and 4RS separately. It should be noted that in light of the number of double tags installed and recovered, a single tag return rate was estimated for all the available years, even though there were potential year-to-year variations. Only the years when high-value tags were installed were considered when calculating the tag non-return rate.

2.2.3. Correction du nombre d'individus recapturés

Une matrice du nombre d'individus marqués et recapturés selon les années a été construite pour chaque type d'étiquettes (simple, double, haute valeur). Ces matrices ont été corrigées par le taux de pertes d'étiquettes, en tenant compte de la durée de vie en liberté des individus, selon la formule suivante :

$$N2 = \frac{N1}{1 - Pt}$$

Où *N1* = nombre initial d'individus marqués et recapturés avant correction

N2 = nombre d'individus marqués et recapturés après correction du taux de pertes

Pt = taux de pertes d'étiquettes estimé pour le temps *t* de vie en liberté

Puis chacune de ces matrices a été corrigée, selon le type d'étiquettes, par le taux de non-retour adéquat, à l'aide de la formule suivante :

2.2.3. Correction of the Number of Individuals Recaptured

A matrix for the number of tagged and recaptured individuals according to the year was designed for each tag type (single, double, high-value). These matrices were corrected with the tag loss rate, while taking into account the free-range periods of the individuals, based on the following model:

$$N2 = \frac{N1}{1 - Pt}$$

Where *N1* = number of original tagged and recaptured individuals prior to correction

N2 = number of tagged and recaptured individuals after loss rate correction

Pt = estimated tag loss rate for free-range period *t*

Each matrix was corrected with the appropriate non-return rate based on the tag-type, using the following model:

$$N3 = \frac{N2}{1 - \lambda_i}$$

Où *N2* = nombre d'individus marqués et recapturés après correction du taux de pertes

N3 = nombre final d'individus marqués et recapturés après correction du taux de pertes et du taux de non-retour d'étiquettes

λ_i = taux de non-retour d'étiquettes estimé pour le type d'étiquette *i*

Finalement, les trois matrices corrigées obtenues ont été additionnées. Là aussi, ce travail de correction a d'abord été effectué en regroupant les zones 3Pn et 4RS puis en les séparant. L'ensemble des calculs a été effectué à l'aide du Logiciel MATLAB 7.5.0 R2007b®.

2.2.4. Estimation du taux d'exploitation

Dans un premier temps, les mortalités par pêches ont été calculées à l'aide du logiciel M-SURGE 1.7 (Choquet *et al.* 2004). Les valeurs de mortalités naturelles nécessaires à ce calcul et au calcul final du taux d'exploitation ont été tirées de l'analyse séquentielle de population effectuée en 2008 par le MPO (Tableau 3). En suivant les deux modèles de mortalité naturelle de l'ASP, deux modèles de mortalité par pêche et de taux d'exploitation ont été créés.

$$N3 = \frac{N2}{1 - \lambda_i}$$

Where *N2* = number of tagged and recaptured individuals after loss rate correction

N3 = final number of tagged and recaptured individuals after loss rate and non-return rate corrections

λ_i = estimated tag non-return rate for tag type *i*

Finally, the three corrected matrices were added up. The correction work was first done by combining Areas 3Pn and 4RS and then separating them. All calculations were made using the MATLAB 7.5.0 R2007b® software.

2.2.4. Estimation of the Exploitation Rate

First, fishing mortalities were calculated with the M-SURGE 1.7 software (Choquet *et al.* 2004). The natural mortality values required for this calculation and for the final exploitation rate calculation were taken from the sequential population analysis conducted in 2008 by the DFO (Table 3). Two fishing mortality models were created based on the two SPA natural mortality models.

Tableau 3: Mortalités naturelles utilisées par l'analyse séquentielle de population (MPO 2008)

Table 3: Natural mortalities used by the virtually population analysis (DFO 2008)

Année / *Year*	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
modèle 1 / *Model 1*	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
modèle 2 / *Model 2*	0.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26

Puis, dans un second temps, le taux d'exploitation μ a été estimé selon la formule suivante :

$$\mu = \frac{F}{Z} x (1 - e^{-Z})$$

Où $Z = F + M$

Z = coefficient instantané de mortalité totale

F = coefficient instantané de mortalité par pêche

M = coefficient instantané de mortalité naturelle

The exploitation rate μ was then estimated based on the following model:

$$\mu = \frac{F}{Z} x (1 - e^{-Z})$$

Where $Z = F + M$

Z = instantaneous rate of total mortality

F = instantaneous rate of fishing mortality

M = instantaneous rate of natural mortality

Le logiciel M-SURGE 1.7 (Choquet *et al.* 2004) a été choisi, car c'est un logiciel spécifiquement développé pour des données de marquage. Il est basé sur les modèles de population de Cormack-Jolly-Seber. De plus, ce logiciel permet de construire des modèles contraints en imposant des contraintes linéaires sur certains paramètres (Choquet *et al.* 2005), notamment sur le paramètre « mortalité naturelle ». Des modèles simple-état (une seule zone de marquage et de recapture possible) ont été utilisés pour estimer le taux d'exploitation du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent (zones 3Pn et 4RS réunies), alors que des modèles multi-états (plusieurs zones de marquage et de recapture possibles) ont été utilisés

The M-SURGE 1.7 software (Choquet *et al.* 2004) was chosen because it was specifically designed for tagging data. It is based on population models by Cormack-Jolly-Seber. In addition, this software can build constrained models by imposing linear constraints on certain parameters (Choquet *et al.* 2005), in particular on the "natural mortality" parameter. Single-status models (only one possible tagging and recapture area) were used to estimate the exploitation rate of the Northern Gulf of St. Lawrence cod stock (Areas 3Pn and 4RS combined), whereas multi-status models (several possible tagging and recapture areas) were used when Areas 3Pn and 4RS were separate. For the multi-status models, M-SURGE can estimate the transition

lorsque les zones 3Pn et 4RS ont été dissociées. Pour les modèles multi-états, M-SURGE permet d'estimer une probabilité de transition entre les zones de marquage et de recapture. Les valeurs d'A.I.C. (Akaike Information Criterion), fournies par M-SURGE, permettent de voir si un des modèles (A.I.C le plus petit) est plus approprié qu'un autre (Choquet *et al.* 2005).

probability between tagging and recapture areas. The A.I.C. values (Akaike Information Criterion) provided by M-SURGE, can determine whether one of the models (smallest A.I.C.) is more appropriate than another (Choquet *et al.* 2005).

À des fins de validation, les taux d'exploitation estimés à partir des données de marquage ont été comparés avec ceux estimés par l'analyse séquentielle de population. Pour vérifier la présence ou non d'un patron rétrospectif dans l'analyse des données de marquage, les taux d'exploitation (zones 3Pn et 4RS regroupées uniquement) ont de nouveau été estimés en retirant du calcul, année après année, les données de recaptures et ce des années récentes jusqu'à l'année 2003.

For validation purposes, the estimated exploitation rates based on the tagging data were compared with those from the sequential population analysis. To verify the occurrence or not of a retrospective pattern in the analysis of tagging data, the exploitation rates (Areas 3Pn and 4RS combined) were again estimated by removing from the calculation, year to year, the recapture data from recent years up to 2003.

3. RESULTATS

3.1. Taux de pertes d'étiquettes

Les données de retour pour les morues marquées avec des étiquettes doubles ainsi que les proportions d'étiquettes perdues calculées sont résumées au tableau 4.

3. RESULTS

3.1. Tag Loss Rate

The return data for double tagged cod and the proportions of calculated lost tags are presented in Table 4.

Tableau 4 : données de recapture pour les morues marquées avec des étiquettes doubles
Table 4: recapture data for originally double tagged cod

Temps en liberté (Année) *Time at liberty (Year)*	Une étiquette restante *One tag retained*	Deux étiquettes restantes *Both tags retained*	Total	Proportion d'étiquettes perdues *Proportion of tags lost*
0-0.5	55	276	331	0.09
0.5-1	15	61	76	0.11
1-1.5	27	65	92	0.17
1.5-2	7	17	24	0.17
2-3	20	46	66	0.18
3-4	4	11	15	0.15
4-5	3	5	8	0.23
5-6	2	2	4	0.33

Une régression non linéaire du taux de pertes d'étiquettes selon le temps de liberté c'est-à-dire le temps entre les événements de marquage et de recapture a été calculée (Figure 3).

A non linear regression of the tag loss rate according to free-range time, i.e. the period between tagging and recapture, was calculated (Figure 3).

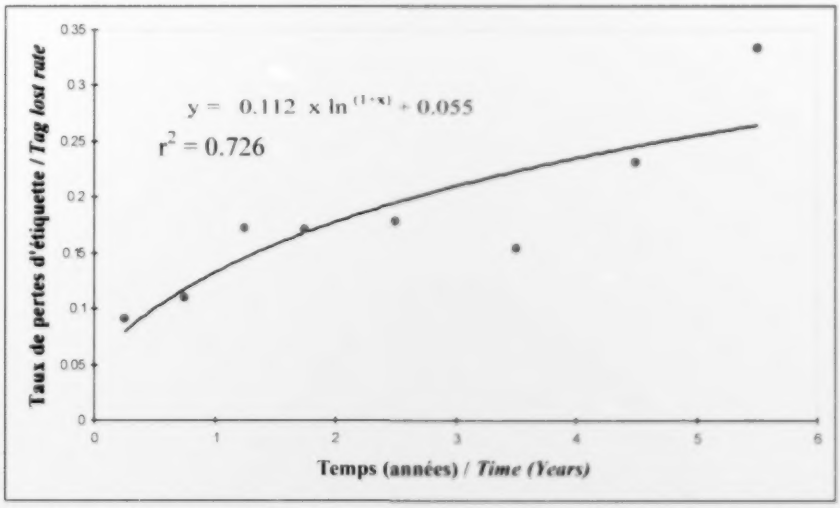


Figure 3 : Régression non linéaire du taux de pertes d'étiquette selon le temps en liberté
Figure 3: Non linear regression of tag loss rate by time at liberty

Le taux de pertes d'étiquettes approche les 30 % après 6 ans en liberté. Ceci est en accord avec les résultats de Cadigan et Brattey (2004), qui ont estimé un taux de pertes d'étiquettes légèrement inférieur à

The tag loss rate nears 30% after 6 years free-range time. This is consistent with the results by Cadigan and Brattey (2004), who estimated a tag loss rate slightly below 30% after five years free-range time

30 % après 5 ans de vie en liberté dans la zone de pêche adjacente 3Ps.

in the adjacent fishery Area 3Ps.

3.2. Taux de retour d'étiquettes

3.2. Tag Return Rate

Les résultats d'estimation du taux de retour d'étiquettes (tableau 5) montrent des différences entre les zones de pêches 3Pn et 4RS et également entre les types d'étiquettes simples et doubles. En effet, ce dernier est plus important dans les divisions 4RS que dans la subdivision 3Pn. Il est également plus élevé pour les étiquettes doubles que pour les étiquettes simples. En ce qui concerne l'ensemble de la zone 3Pn_4RS, les taux de retour d'étiquettes estimés sont supérieurs aux estimations de Brattey et Healey (2007, données non publiées) qui ont estimé, pour la même zone de pêche, des taux de retour d'étiquettes constants des années 1997 à 2006, de 53 % et de 66 %, pour les étiquettes simples et doubles respectivement.

The tag return rate estimate results (Table 5) reveal differences between fishery Areas 3Pn and 4RS and also between single and double tag types. In fact, the latter is more significant in divisions 4RS than in subdivision 3Pn. It was also higher for double tags than single tags., The estimated tag return rates for the entire Area 3Pn_4RS were higher than what Brattey and Healey had estimated (2007, unpublished data). They estimated, for the same fishery Area, consistent tag return rates between 1997 and 2006, 53% and 66% for single and double tags respectively.

Tableau 5 : Taux de retour d'étiquettes estimés pour les zones de pêches 3Pn et 4RS et pour l'ensemble du nord du golfe du Saint-Laurent (zones 3Pn et 4RS regroupées et séparées)

Table 5: Tag reporting rates estimated for fishery areas 3Pn and 4RS regrouped and separated

Taux de retour d'étiquettes / *Tag reporting rate* (λ)	3Pn	4RS	3Pn_4RS
Marque simple / *Simple Tag*	0.51	0.68	0.58
Marque double / *Double Tag*	0.67	0.97	0.83

3.3. Nombre corrigé d'individus recapturés

3.3. Corrected Number of Individuals Recaptured

Les nombres estimés d'individus marqués et recapturés après avoir été corrigés des taux de pertes et de retour d'étiquettes sont fournis dans les annexes 2 et 3.

The estimated number of individuals tagged and recaptured after correcting the tag loss and return rates are provided in Appendices 2 and 3.

3.4. Taux d'exploitation

3.4.1. Divisions 3Pn et 4RS regroupées

Les estimations obtenues à partir des deux modèles de mortalité naturelle ont été placées sur la figure 4 ainsi que les résultats des taux d'exploitation estimés par les deux modèles de l'analyse séquentielle de population.

3.4. Exploitation Rate

3.4.1. Divisions 3Pn and 4RS Combined

The estimates obtained from the two natural mortality models are shown on Figure 4 along with the estimated exploitation rate results from the two sequential population analysis models.

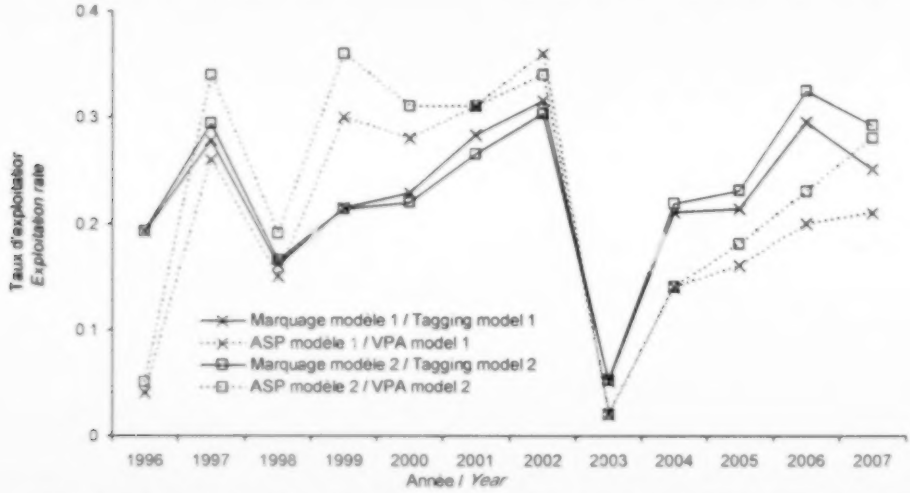


Figure 4 : Taux d'exploitation estimé à partir des données de marquage et de l'analyse séquentielle de population (ASP) selon les deux modèles de mortalité naturelle

Figure 4: Exploitation rate estimated from tagging data and from the virtually population analysis (VPA)

Les taux d'exploitation estimés à partir des données de marquage sont très proches pour les deux modèles de mortalité naturelle utilisés. Cependant les valeurs du modèle 2 des années 2006 et 2007 sont légèrement supérieures à celles du modèle 1 (Figure 4). En 1996, dernière année du premier moratoire, le taux d'exploitation estimé à l'aide des données de marquage est particulièrement élevé pour une année de moratoire. Il augmente de 0,16 à 0,3 entre 1998 et 2002. En 2003, année du second moratoire, il avoisine 0,05. Il augmente ensuite jusqu'en 2006, où il atteint la valeur maximale de 0,32 pour le modèle 2 et de 0,29 pour le modèle 1. L'année 2007 montre un taux d'exploitation légèrement inférieur à

The estimated exploitation rates from the tagging data are very close for both natural mortality models that were used. However, the values in model 2 from 2006 and 2007 were slightly higher than in model 1 (Figure 4). In 1996, the final year of the first moratorium, the estimated exploitation rate from tagging data was especially high for a moratorium year. It increased from 0.16 to 0.3 between 1998 and 2002. In 2003, in the second moratorium, it bordered on 0.05. It then increased until 2006 and reached a maximum value of 0.32 for model 2 and 0.29 pour le model 1. In 2007, the exploitation rate was slightly lower than in 2006. The estimates drawn from tagging

l'année 2006. Les estimations faites à partir des données de marquage sont plus faibles avant le moratoire de 2003 que celles faites à partir de l'analyse séquentielle de population, mais plus élevées après 2003. La valeur d'A.I.C est plus faible pour le modèle 2 ce qui suggère que ce dernier semble le plus approprié (Tableau 6).

data were lower before the 2003 moratorium than those made from the sequential population analysis, but higher after 2003. The A.I.C. value was lower for model 2, which suggests that the latter is more appropriate (Table 6).

Tableau 6 : Valeurs d'A.I.C des deux modèles d'estimations du taux d'exploitation
Table 6: A.I.C values of the two models of exploitation rate

	A.I.C
Modèle 1 / *Model 1*	31184
Modèle 2 / *Model 2*	30087

3.4.2. Divisions 3Pn et 4RS séparées

Que ce soit pour la zone 3Pn ou la zone 4RS, les deux modèles présentent des estimations très proches (Figure 5). Les taux d'exploitation des années 2006 et 2007, sont toutefois légèrement plus élevés pour le modèle 2 que pour le modèle 1. Le taux d'exploitation de la zone 4RS est globalement en hausse de 1996 (approximativement 0,19 pour les deux modèles) à 2002 (approximativement 0,26 pour les deux modèles). Il chute ensuite en 2003, sous l'effet du moratoire, pour augmenter progressivement et atteindre, en 2007, une valeur de 0,25 pour le modèle 1 et de 0,3 pour le modèle 2. Excepté pendant les années 1998, 1999, 2000 et 2007, la zone 3Pn semble être plus fortement exploitée que la zone 4RS.

3.4.2. Divisions 3Pn and 4RS Separate

Both models yielded very similar estimates for Areas 3Pn and 4RS (Figure 5). However, exploitation rates in 2006 and 2007 were slightly higher in model 2 than model 1. The exploitation rate for Area 4RS generally increased from 1996 (approximately 0.19 for both models) to 2002 (approximately 0.26 for both models). It then dropped in 2003 as a result of the moratorium, and gradually increased in 2007 to 0.25 for model 1 and 0.3 for model 2. Except for 1998, 1999, 2000 and 2007, Area 3Pn appeared to be more heavily exploited than 4RS.

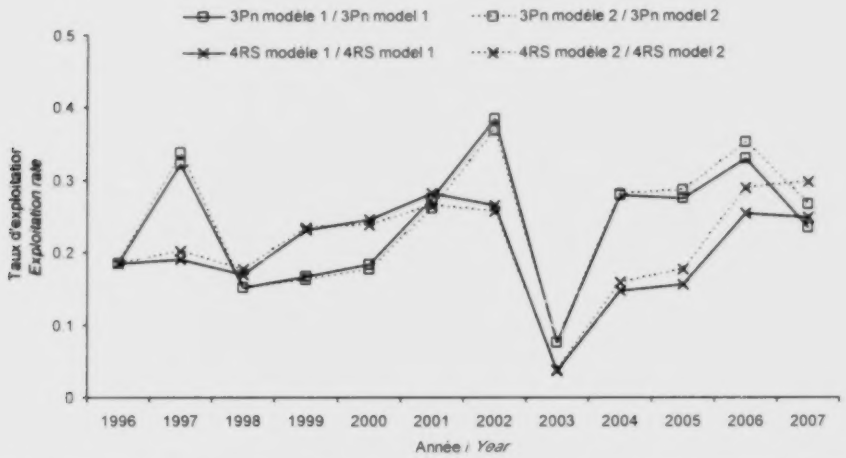


Figure 5 : Taux d'exploitation estimés pour les zones 3Pn et 4RS à partir des données de marquage selon les deux modèles de mortalité naturelle

Figure 5: Estimations of exploitation rates based on tagging data and on the two natural mortality models, for areas 3Pn and 4RS separated

Cette fois encore, les valeurs d'A.I.C indiquent que le modèle 2 paraît le plus approprié (Tableau 7).

Once again, the A.I.C. values indicate that model 2 appears to be the most appropriate (Table 7).

Tableau 7 : Valeurs d'A.I.C des deux modèles d'estimations des taux d'exploitation

Table 7: A.I.C values for the two models of estimated exploitation rates

A.I.C	
Modèle 1 / *Model 1*	36672
Modèle 2 / *Model 2*	35599

Les probabilités de transition (Tableau 8) suggèrent qu'il est plus probable qu'une morue transite de la subdivision 4RS vers la subdivision 3Pn que l'inverse. Les résultats des deux modèles sont une fois de plus très similaires.

The transition probabilities (Table 8) suggest that it is more likely that a cod transits from subdivision 4RS to subdivision 3Pn than the opposite. The results from both models are again very similar.

Tableau 8 : Probabilités de transition entre les subdivisions 3Pn et 4RS calculées pour les deux modèles de mortalité naturelle utilisés

Table 8: Transition probabilities between areas 3Pn and 4RS estimated by the two models of natural mortality used

	De 3Pn à 4RS / *From 3Pn to 4RS*	De 4RS à 3Pn / *From 4RS to 3Pn*
Modèle 1 / *Model 1*	0,15	0,24
Modèle 2 / *Model 2*	0,14	0,25

3.4.3. Patron rétrospectif

Les figures 6a et 6b montrent respectivement les taux d'exploitation selon des modèles 1 et 2 après avoir retiré une année après l'autre du calcul des taux d'exploitation des zones 3Pn et 4RS réunies.

3.4.3. Retrospective pattern

Figures 6a and 6b respectively show exploitation rates based on models 1 and 2 after removing one year after another the exploitation rates from Areas 3Pn and 4RS combined.

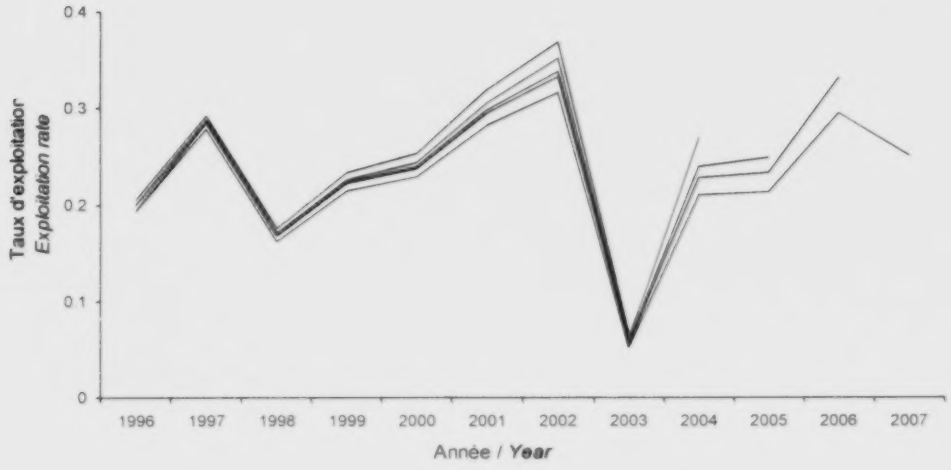


Figure 6a : Observation du patron rétrospectif présent dans l'estimation du taux d'exploitation du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent entre les années 1996 et 2007 (subdivisions 3Pn et 4RS regroupées), à partir du modèle 1 de mortalité naturelle

Figure 6a: Retrospective pattern observed in the estimation of the exploitation rate of the northern Gulf of St. Lawrence cod stock (Areas 3Pn and 4RS regrouped) based on tagging data from 1996 to 2007 and on the model 1 of natural mortality

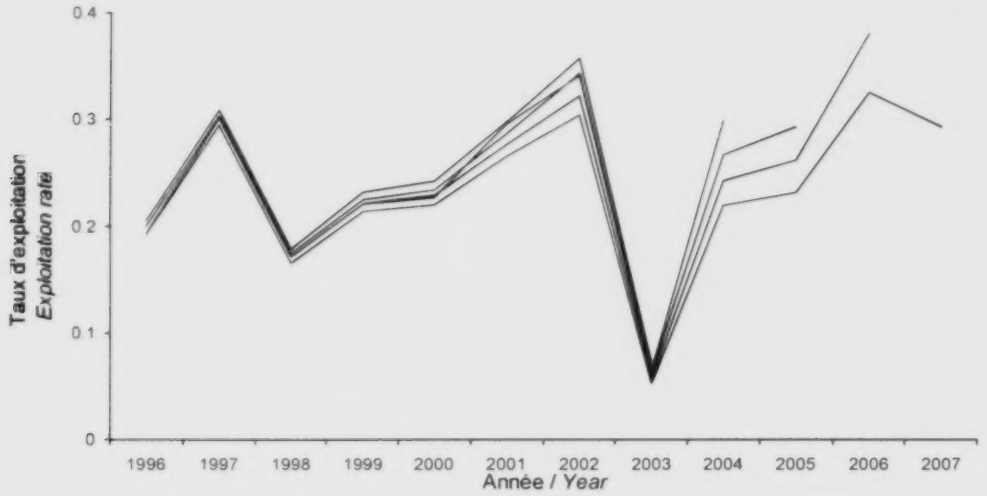


Figure 6b : Observation du patron rétrospectif présent dans l'estimation du taux d'exploitation du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent entre les années 1996 et 2007 (subdivisions 3Pn et 4RS regroupées), à partir du modèle 2 de mortalité naturelle

Figure 6b: Retrospective pattern observed in the estimation of the exploitation rate of the northern Gulf of St. Lawrence cod stock (Areas 3Pn and 4RS regrouped) based on tagging data from 1996 to 2007 and on the model 2 of natural mortality

On peut remarquer, en retirant les données de recaptures d'une année après l'autre de l'estimation du taux d'exploitation, que la méthode présente un patron rétrospectif. Le retrait des dernières années de pêches entraîne une augmentation du taux d'exploitation pour les années les plus récentes. Les années les plus anciennes semblent quant à elles être moins affectées (Figures 6a et 6b). Un phénomène inverse semble être observable dans l'analyse séquentielle de population. L'analyse séquentielle de population tend à sous-estimer le taux d'exploitation des années récentes (Figure 7).

It can be observed, after removing the recapture data from one year to another from the estimation of the exploitation rate, that the method reveals a retrospective pattern. The removal of the last fishery years causes an increase in the exploitation rate for the most recent years. The oldest years appear less affected (Figures 6a and 6b). An opposite phenomenon seems to be observed in the sequential population analysis. The sequential population analysis tends to underestimate the exploitation rate from recent years (Figure 7).

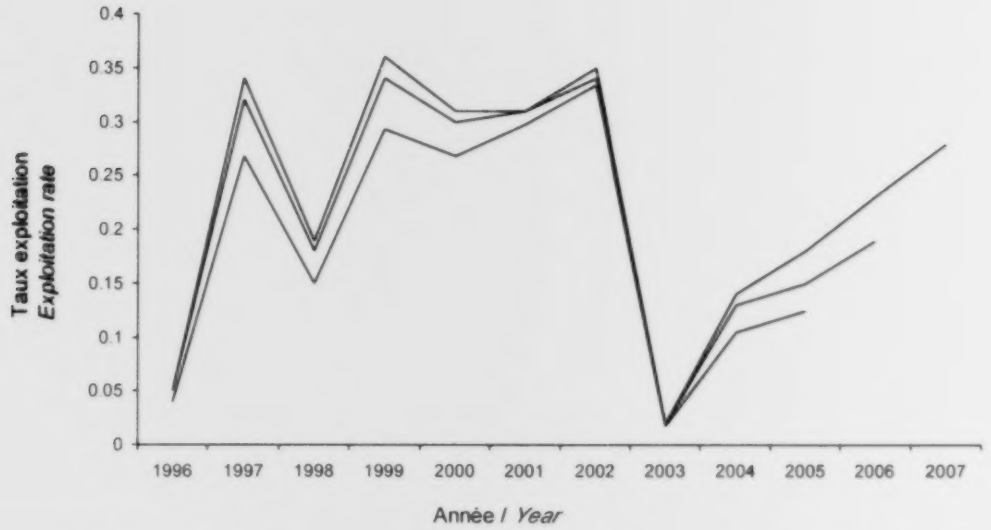


Figure 7 : Observation du patron rétrospectif présent lors de l'estimation du taux d'exploitation du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent entre les années 1996 et 2007 (subdivisions 3Pn et 4RS regroupées) par l'analyse séquentielle de population (données d'A. Fréchet, MPO, comm. pers.)

Figure 7: Retrospective pattern observed in the exploitation rate of the northern Gulf of St. Lawrence cod stock (Areas 3Pn and 4RS regrouped) estimated by the virtually population analysis

4. DISCUSSION

4.1. Mélange de stocks et sous-populations locales

Alors que les expériences de marquage ont été strictement pratiqués dans les zones 3Pn et 4RS, un nombre conséquent de recaptures est situé en dehors des limites administratives de ces zones de pêches et notamment dans la zone 3Ps. Cela appuie l'idée d'un mélange, déjà mentionné dans de nombreuses études (Chouinard *et al.* 2000, Bérubé et Fréchet 2001, Yvelin *et al.* 2005; Méthot *et al.* 2005, Sagnol 2007), entre le stock 3Pn,4RS et le stock 3Ps. Le stock 3Pn,4RS peut être exploitée dans la zone 3Ps. Cette dernière étant contrôlée par un TAC nettement plus élevé (13 000 tonnes en 2007) que dans la zone 3Pn,4RS (7 000 tonnes en 2007), cela

4. DISCUSSION

4.1. Stock Mixing and Local Sub-Population

Tagging activities were strictly carried out in Areas 3Pn and 4RS. Yet, a sizeable number of recaptures were made outside the limits of these fishery areas, in particular in 3Ps. This supports the mixing concept previously mentioned in several studies (Chouinard *et al.* 2000, Bérubé and Fréchet 2001, Yvelin *et al.* 2005; Méthot *et al.* 2005, Sagnol 2007), between the 3Pn-4RS stock and the 3Ps stock. The 3Pn-4RS stock can be exploited in 3Ps. The latter is controlled by a significantly higher TAC (13,000 tons in 2007) than in 3Pn and 4RS (7,000 tons in 2007), which represents a risk for the recovery of the Northern Gulf stock.

représente un risque pour le rétablissement du stock du nord du golfe.

La probabilité de transition plus élevée dans le sens de 4RS vers 3Pn que de 3Pn vers 4RS semble appuyer l'hypothèse de l'existence d'une sous-population locale résidente dans 3Pn (Templeman 1979, Yvelin *et al.* 2005).

The higher transition probability of 4RS towards 3Pn than 3Pn towards 4RS appears to support the theory that a local resident sub-population exists in 3Pn (Templeman 1979, Yvelin *et al.* 2005).

4.2. Taux de pertes d'étiquettes

L'estimation d'un taux d'exploitation de stock est plus précise si l'on connaît le taux de pertes d'étiquettes (Seber 1982, Hearn *et al.* 1998, Hoenig et *al.* 1998, Cadigan et Brattey 2003 et 2006). La perte d'étiquettes lors de la durée de vie en liberté des poissons entraîne une diminution du nombre de poissons marqués disponible pour la pêche. Or l'estimation du taux d'exploitation d'un stock à partir de données de marquage est liée au nombre de poissons disponibles pour la pêche (Hearn *et al.* 1998). La non-considération des pertes d'étiquette par certains individus peut avoir pour effet une sous-estimation du taux d'exploitation d'un stock (Seber 1982, Hearn *et al.* 1998).

La méthode des étiquettes doubles, largement utilisée dans les expériences de marquage, permet une bonne estimation du taux de pertes d'étiquettes. Cependant, dans cette étude, le manque de précision des informations sur la position des étiquettes, soit sur l'avant de la nageoire dorsale soit plus en arrière, empêche une estimation plus approfondie des résultats. Cadigan et Brattey (2006) ont montré que la probabilité de détachement d'une marque est plus élevée quand celle-ci est située sur la partie antérieure de la nageoire dorsale que sur la partie postérieure. Il est recommandé pour de futures expériences de marquage de placer les étiquettes sur la partie postérieure de la nageoire dorsale.

Le modèle utilisé dans cette étude semble bien approprié. En effet d'autres études

4.2. Tag Loss Rate

The estimation of a stock's exploitation rate is more precise when the tag loss rate is known (Seber 1982, Hearn *et al.* 1998, Hoenig *et al.* 1998, Cadigan and Brattey 2003 and 2006). The loss of tags during the free-range period of fish leads to a reduction in the number of tagged fish available to the fishery. Therefore, the estimation of a stock's exploitation rate from tagging data is linked to the number of fish available to the fishery (Hearn *et al.* 1998). The non-consideration of tag loss by certain individuals causes a stock's exploitation rate to be underestimated (Seber 1982, Hearn *et al.* 1998).

The double tag method, widely used in tagging experiments, provides a good estimate of the tag loss rate. However, in the current study, the lack of specific data on tag positioning, i.e. on the dorsal fin at the back, prevents a greater estimation of the results. Cadigan and Brattey (2006) demonstrated that the probabilities that a tag will detach are greater when the tag is located on the forward part of the dorsal fin than at the back. It is recommended in future tagging experiments to place the tags at the back of the dorsal fin.

The model used in this study appears appropriate. In fact, other studies on the tag

portant sur le taux de pertes d'étiquettes de morue dans d'autres zones de pêches du golfe du Saint-Laurent ont montré que ce dernier avoisine et se stabilise autour de 30 % à partir de cinq années de vie en liberté (Kirkwood 1981, Cadigan et Brattey 2003, 2006). La stabilisation observée peut s'expliquer par la solidification des tissus autour de l'étiquette posée après quelques années. L'écart observé dans la proportion d'étiquettes perdues entre 4-5 ans et 5-6 ans de vie en liberté peut s'expliquer par le faible nombre de poissons doublement marqués et recpaturés après 5 ans de vie en liberté. Une augmentation du nombre d'étiquettes doubles posées chaque année permettrait d'améliorer l'estimation du taux de pertes d'étiquettes.

loss rate for cod in other fishery areas in the Gulf of St. Lawrence have shown that the latter is similar and becomes stable around 30% after five years free-range time (Kirkwood 1981, Cadigan and Brattey 2003, 2006). The stability observed can be explained by the solidifying tissue around the tag after a few years. The few number of double tagged fish and recaptured after 5 years at liberty may explain the high variation in proportion of tags loss between 4-5 year and 5-6 years at liberty; therefore, increasing the number of double tagged fish may improve the estimation of the rate of tag loss .

4.3. Taux de retour d'étiquettes

La réussite d'expériences de marquage dans des zones de pêches dépend essentiellement de la collaboration des communautés de pêcheurs concernées. Cette collaboration ne peut être effective que si ces dernières sont suffisamment informées et encouragées à renvoyer les étiquettes et les informations nécessaires. Cependant, malgré les programmes d'informations et les récompenses attribuées, il est très fréquent que de nombreuses étiquettes ne soient pas renvoyées. Le taux de non-retour d'étiquette peut fortement varier d'une région à l'autre et d'une année à l'autre. Certaines études ont montré un taux de retour croissant depuis quelques années (Cadigan et Brattey 2003, 2006). Ceci peut s'expliquer par une connaissance des programmes de marquage de plus en plus grande de la part des pêcheurs, par un plus grand nombre de captures d'individus marqués et aussi par une participation active des associations de pêcheurs. Cependant, le manque de marquage par des étiquettes de hautes valeurs pendant plusieurs années empêche d'estimer un taux de retour d'étiquettes pour chaque année considérée dans cette étude. Le choix de calculer un taux de retour

4.3. Tag Return Rate

The success of tagging experiments in fishery areas depends essentially on the cooperation of the fisherman communities involved. This cooperation can only be effective if the latter are sufficiently informed and encouraged to return the tags and the required information. However, even though there are information programs and rewards given, many tags are not returned. The tag non-return rate can be very different from one region to another and from one year to another. Some studies have shown an increased return rate in recent years (Cadigan and Brattey 2003, 2006). This can be the result of increased knowledge of the tagging programs by fishermen, by an increased number of tagged individuals caught and also by an active participation from fishermen associations. However, because high-value tags were not used for several years, tag return rate estimates could not be made for every year included in this study. Therefore, a tag return rate for each year was calculated. The choice was in compliance with the results by Brattey and Healey (2007, unpublished data), who estimated a consistent tag return rate for subdivisions 3Pn and 4RS from 1997 to 2006. The differences observed between the single tag return rate and the double tag

d'étiquettes pour toutes les années a alors été effectué. Ce choix est toutefois en accord avec les résultats de Brattey et Healey (2007, données non publiées), qui ont estimé un taux de retour constant pour les subdivisions 3Pn et 4RS des années 1997 à 2006. Les différences observées entre le taux de retour des étiquettes simples et le taux de retour des étiquettes doubles est cohérent avec la récompense plus importante attribuée aux étiquettes doubles. Les résultats d'estimations du taux de retour d'étiquettes montrent que ce dernier est plus important pour la zone 4RS que pour la zone 3Pn. Ceci pourrait s'expliquer, par le nombre d'étiquettes recapturées dans ces deux zones, qui est globalement plus important dans la zone 4RS que dans la zone 3Pn. On peut supposer que les pêcheurs capturant plus d'étiquettes, il est plus rentable pour eux de les renvoyer que lorsque le nombre d'étiquettes récupérées est faible. Une autre raison qui pourrait expliquer cet écart entre les taux de retour d'étiquettes des zones de pêches 3Pn et 4RS, serait les nombres d'étiquettes doubles posées et récupérées. Elles étaient nettement plus nombreuses dans la zone 4RS que dans la zone 3Pn, ce qui suggérerait une meilleure précision dans l'estimation du taux de retour d'étiquettes pour la zone 4RS que pour la zone 3Pn.

return rate was consistent with the higher reward given to double tags. Tag return rate estimates indicate that the latter is more significant in 4RS than in 3Pn. This could be explained, by the number of recaptured tags in these two areas, which is higher in 4RS than in 3Pn overall. It could be assumed that when fishermen recover a higher number of tags, it is more profitable for them to send them than when there are fewer tags recovered. Another possible reason for this gap between the tag return rates in 3Pn and 4RS could be the number of double tags installed and recovered. There were many more in 4RS than in 3Pn, which could suggest the tag return rate estimate is more precise in 4RS than in 3Pn.

Une source de biais potentiel de cette étude est l'absence de prise en considération de la mortalité initiale. Malgré que seules les morues en bonne condition sont marquées et relâchées dans ces expériences, la capture par des engins de pêche engendre un certain stress pouvant induire une mortalité initiale. Pour la zone de pêche 3Ps, cette mortalité initiale induite par les expériences de marquage a été estimée à 3% de novembre à mai et à 22% de juin à octobre (Brattey, comm. pers.). La mortalité initiale entrainant une diminution du nombre de poissons marqués disponible pour la pêche, la considération de cette mortalité devrait entrainer une augmentation du taux d'exploitation. Il

A potential source of bias in this study is the lack of consideration for initial mortality. Even though only healthy cod are tagged and released in these experiments, catches made with fishing gear can cause a certain amount of stress and lead to initial mortality. In sub-division 3Ps, initial tagging mortality has been estimated at 3% from November to May and at 22% from June to October (Brattey, pers. comm.). The initial tagging mortality decreases the number of available tagged fish to the fishery; therefore considering an initial mortality parameter may increase the exploitation rate estimation. It would be useful, in future exploitation rate estimates from tagging data in the Northern Gulf of St. Lawrence, to

serait alors utile, pour de futures estimations du taux d'exploitation à partir de données de marquage dans le nord du golfe du Saint-Laurent, d'estimer et de considérer cette mortalité.

4.4. Taux d'exploitation

Les résultats de l'estimation du taux d'exploitation à partir des données de marquage indiquent une augmentation de l'exploitation du stock 3Pn,4RS depuis le moratoire de 2003. La même tendance était soulevée par les résultats de l'analyse séquentielle de population. Les résultats donnés par les deux approches montrent une bonne concordance. L'ASP donne toutefois des estimations du taux d'exploitation plus faibles que celles obtenues avec les données de marquage. L'estimation du taux d'exploitation par l'ASP se base uniquement sur des tailles de morues pleinement recrutées (7 à 10 ans), tandis que les estimations à partir des données de marquage incluent des tailles de morues partiellement recrutées (4 ans et plus). Si l'on avait considéré seulement des individus pleinement recrutés, les estimations de taux d'exploitation seraient supérieures à celles obtenues ici. L'ASP, qui se fonde sur les captures commerciales rapportées, semble sous-estimer légèrement le taux d'exploitation du stock de morue. Myers *et al.* (1996) explique ce biais par le nombre de captures commerciales non enregistrées. Mais, par ailleurs, l'analyse des données de marquage réalisée dans cette étude pourrait surestimer légèrement le taux d'exploitation comme le suggère le patron rétrospectif. L'analyse des données de marquage, qui est indépendante des débarquements, fournit une méthode complémentaire à l'ASP, pour l'estimation du taux d'exploitation d'un stock d'espèces démersales.

Les valeurs d'AIC obtenues lors de l'analyse des données de marquage suggèrent que le deuxième modèle de mortalité naturelle (estimée par l'ASP)

estimate and consider this mortality.

4.4. Exploitation Rate

The results from the estimation of the exploitation rate from tagging data indicate an increase in exploitation of the 3Pn-4RS stock since the 2003 moratorium. The same trend was noted from the sequential population analysis results. The results of both approaches have some consistencies, however; the SPA provides exploitation rate estimates that are lower than those from tagging data. The SPA exploitation rate estimate is based solely on cod sizes fully recruited (7-10 years-old), whereas tagging data estimates include cod sizes that are partially recruited (4+ years-old). If only full recruited individuals were considered, exploitation rate estimates would have been higher than those obtained here. The SPA, which is based on reported commercial catches, appears to slightly underestimate the cod stock exploitation rate. Myers *et al.* (1996) explained this bias by the number of unrecorded commercial catches. However, the analysis of the tagging data conducted in this study could slightly over-estimate the exploitation rate, as suggested by the retrospective pattern. The analysis of the tagging data, which is largely independent of landings, provides a complementary method to the SPA for estimating the exploitation rate of a stock of demersal species.

The A.I.C. values obtained in the tagging data analysis suggests that the second natural mortality model (estimated by the SPA) appears to be more appropriate than

semble plus approprié que le modèle 1 (valeurs de M fixées). Lors des évaluations du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent effectuées en 2007 et en 2008, les deux modèles de mortalité naturelle ont été utilisés, alors que dans les évaluations de 2006 et de 2005, uniquement le modèle 1 a été considéré. Cette étude vient soutenir l'idée d'une plus grande justesse du deuxième modèle de mortalité naturelle. Les estimations, d'un taux d'exploitation de 30 % pour l'année 2007, obtenues à partir du modèle 2 de mortalité naturelle, par l'analyse des données de marquage et par l'ASP, semblent être réalistes. Puisque les objectifs de reconstruction du stock visent un taux d'exploitation inférieur à 18 %, l'exploitation actuelle du stock est trop importante pour permettre cette reconstruction.

model 1 (fixed M values). Both natural mortality models were used during the 2007 and 2008 assessment of cod stock from the Northern Gulf of St. Lawrence, whereas only model 1 was considered in the 2005 and 2006 assessments. This study supports the concept that the second natural mortality model is more accurate. Exploitation rate estimates of 30% for 2007, obtained with model 2 of natural mortality, from tagging data analysis and SPA, appear realistic. Since stock reconstruction objectives target an exploitation rate of less than 18%, current expioitation of the stock is too significant to achieve the reconstruction.

L'estimation des taux d'exploitation en séparant les zones 3Pn et 4RS montre qu'à partir de l'année 2001, le sous-stock 3Pn était plus exploité que le sous-stock 4RS. Ceci peut s'expliquer par le nombre important de captures dans la zone 3Pn pendant les mois d'octobre et de novembre (Yvelin *et al.* 2005), c'est-à-dire lorsque la population de morue quitte le golfe. Le fort taux d'exploitation de la zone 3Pn apparaît comme une menace pour la sous-population locale résidente dans cette zone. Il semble alors pertinent d'attribuer différents taux admissibles de captures pour les zones 3Pn et 4RS.

The estimation of the exploitation rate in 3Pn and 4RS separately indicate that from 2001, the 3Pn stock was more exploited than the 4RS stock. This could be caused by the significant number of catches made in Area 3Pn in October and November (Yvelin *et al.* 2005), i.e. when the cold population leaves the Gulf. The high exploitation rate in 3Pn could threaten for the local resident sub-population in this area. Therefore, it is advisable to manage fisheries in 3Pn and 4RS considering the disproportionately large exploitation rate that can occur on subpopulations.

La méthode utilisée dans cette étude montre la présence d'un patron rétrospectif qui agît essentiellement sur les quatre années avant la dernière année de recapture. Ceci suggère que les estimations des années les plus récentes vont être légèrement modifiées lorsque de nouvelles données de recaptures vont être disponibles. On peut penser qu'après quatre ans de vie en liberté, la grande majorité des poissons marqués ont été pêchés ou morts de causes naturelles. Cette durée est sensiblement la même que

The model used in this study shows the presence of a retrospective pattern that essentially occurs during the four years prior to the last recapture year. This suggests that the estimations from the most recent years will be slightly different when new recapture data will become available. Perhaps after four years of free-range time, most tagged fish have been caught or have died from natural causes. This period is more or less of the same length as the fully recruited age period.

la durée de la période d'âges pleinement recrutés.

5. CONCLUSIONS

Les données de marquage sont des sources d'informations supplémentaires pour les processus d'évaluation de stock de poissons démersaux. Dans le nord du golfe du Saint-Laurent, elles ont principalement été utilisées pour la définition des routes de migration et des mélanges entre stocks. L'usage qui a été fait ici de ces données de marquage fournit une nouvelle méthode, complémentaire de l'analyse séquentielle de population, pour l'estimation du taux d'exploitation du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent. Cette étude confirme les tendances des taux d'exploitation observées par l'ASP. Un taux d'exploitation de 30 % en 2007 est nettement trop élevé pour permettre une reconstruction du stock et donc pour maintenir à long terme une activité économique viable. À des fins de précision des résultats, il sera utile d'intégrer un facteur de mortalité lors du marquage dans la correction du nombre d'individus marqués disponibles pour la pêche. L'estimation d'un taux d'exploitation pour les classes d'âges pleinement recrutées permettrait une comparaison plus précise avec les résultats de l'analyse séquentielle de population. Enfin, l'intégration chaque année, de cette étude dans le processus d'évaluation de la morue du nord du golfe du Saint-Laurent permettra une évaluation du taux d'exploitation indépendante de l'ASP.

5. CONCLUSIONS

Tagging data are additional sources of information for demersal fish stock assessment processes. In the Northern Gulf of St. Lawrence, they have been mostly used for defining migration routes and stock mixing. The tagging data was used here to provide a new method, as a complement to sequential population analysis, for estimating the exploitation rate of the Northern Gulf of St. Lawrence cod stock. This study confirms the exploitation rate trends observed by SPA. An exploitation rate of 30% in 2007 is far too high for stock reconstruction and therefore to maintain any long term economically viable activity. In order to make results more accurate, it would be useful to integrate a mortality factor during the tagging process for correcting the number of tagged individuals available to the fishery. The estimation of an exploitation rate for fully recruited age classes would provide a more accurate comparison with the sequential population analysis results. Finally, integrating every year this study to the assessment process of Northern Gulf of St. Lawrence cod will provide a more accurate assessment of the exploitation rate of the Northern Gulf of St. Lawrence Atlantic cod stock.

REFERENCES

Bérubé, M. & Fréchet, A. (2001). Sommaire du programme de marquage des pêches sentinelles du nord du golfe avec une emphase sur les re-captures provenant des unités de gestion voisines. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO. Document de Recherche 2001/002.

Brattey, J. & Cadigan N.G. (2004). Estimation of short-term tagging mortality of adult Atlantic cod (gadus morhua). Fisheries research 66, 223-233.

Cadigan, N.G. & Brattey, J. (2003). Semi-parametric estimation of tag loss and reporting rates for tag-recovery experiments using exact time-at-liberty data. Biometrics 59, 869-876.

Cadigan, N.G. & Brattey, J. (2006). Reporting and shedding rate estimates from tag-recovery experiments on Atlantic cod (Gadus morhua) in coastal Newfoundland. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 63, 1944-1958.

Choquet, R., Reboulet, A.M., Pradel, R., Gimenez, O. & Lebreton, J.D. (2005). M-SURGE 1-7 User's Manual. CEFE, Montpellier, France. (http://ftp.cefe.cnrs.fr/biom/Soft-CR/').

Choquet, R., Reboulet, A.M., Pradel, R., Gimenez, O. & Lebreton, J.D. (2004). M-SURGE: "new software specifically designed for multistate capture-recapture models." Animal Biodiversity and Conservation 27(1), 207-215

Chouinard, G.A. (2000). Report on the Cod mixing Workshop. Canadian Science Advisory Secretariat, 2000/27.

Fréchet, A., (1990). Catchability variations of cod in the marginal ice zone. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 47, 1678 – 1683.

Hearn, W.S., Pollock, K.H. & Brooks, E.N. (1998). Pre- and post-season tagging models: estimation of reporting rate and fishing and natural mortality rates. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55, 199-205.

Hearn, W.S., Polacheck, T., Pollock, K.H. & Whitelaw, W. (1999). Estimation of tag reporting rates in age-structured multicomponent fisheries where one component has observers. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 56, 1255-1265.

Hoenig, J.M., Barrowman, N.J., Hearn, W.S. & Pollock, K.H. (1998). Multiyear tagging studies incorporating fishing effort data. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 55, 1466-1476.

Jones, R. (1977). Tagging : Theoretical Methods and Practical Difficulties. In Gulland, J.A. Fish Population Dynamics. Rome: A Wiley_Interscience Publication.

Kirkwood, G.P. (1981). Generalized models for the estimation of the rates of tag shedding by southern bluefin tuna (Thunnus maccoyii). International Council for the Exploration of the Sea 39, 256-260.

Lambert, Y. & Dutil, J.-D. (1997). Condition and energy reserves of Atlantic cod (Gadus morhua) during the collapse of the northern Gulf of St. Lawrence stock. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54 (10), 2388-2400.

McQuinn, I. H., Simard, Y., Stroud, T.W.F., Beaulieu, J.-L. & Walsh, S.J. (2005). An adaptive, integrated "acoustic-trawl" survey design for Atlantic cod (Gadus morhua) with estimation of the acoustic and trawl dead zones. – ICES Journal of Marine Science 62, 93-106.

Méthot, R., M. Castonguay, Y. Lambert, C. Audet, and S.E. Campana. 2005. Spatio-temporal distribution of spawning and stock mixing of Atlantic cod from the northern Gulf of St. Lawrence and southern Newfoundland stocks on Burgeo Bank as revealed by maturity and trace elements of otoliths. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 36: 31-42.

MPO, 2008. Évaluation du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent (3Pn,4RS) en 2007. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Avis scientifique. 2008/003

MPO, 2007. Évaluation du stock de morue du nord du golfe du Saint-Laurent (3Pn,4RS) en 2006. Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, Avis scientifique. 2007/003

Myers, R.A., Barrowman, N.J., Hoenig, J.M. & Qu, Z. (1996). The collapse of cod in Eastern Canada: the evidence from tagging data. – ICES Journal of Marine Science 53, 629-640.

Ouellet, P. (1997). Characteristics and vertical distribution of Atlantic cod (Gadus morhua) eggs in the northern Gulf of St. Lawrence, and the possible effect of cold water temperature on recruitment. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54 (1), 211-223.

Sagnol, O. 2007. Détermination des sous-populations du stock de morue du golfe du Saint-Laurent à l'aide de la chimie des écailles et des vertèbres. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski. 100 p.

Seber, G.A.F. (1982). The estimation of animal abundance and related parameters, 2nd edition. London: Charles Griffin.

Templeman, W., (1979). Migration and Intermingling of Stocks of Atlantic Cod, Gadus morhua, of the Newfoundland and Adjacent Areas from Tagging in 1962-1966. ICNAF Research Bulletin 14, 5 – 50.

Yvelin, J.F., Fréchet, A. & Bréthes, J.C. (2005). Migratory routes and stock structures of cod from the Northern Gulf of St. Lawrence (3Pn,4RS). DFO, Canadian Science Advisory Secretariat, Research Document, 2005/055. 32p.

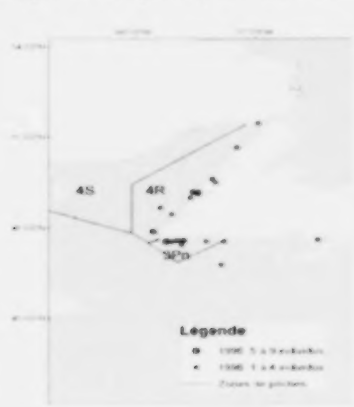
Remerciements

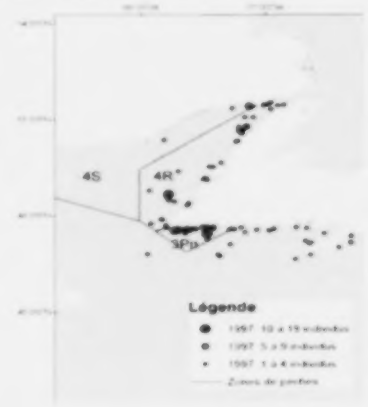
Nous tenons à remercier tous les pêcheurs sentinelles, coordonnateurs de terrains ainsi que le personnel des divers programmes sentinelles pour la pose, le suivi des recaptures ainsi que la saisie des données du programme de marquage de la morue du Nord du golfe du Saint Laurent. Enfin, Martin Castonguay et Daniel Duplisea ont révisé le document.

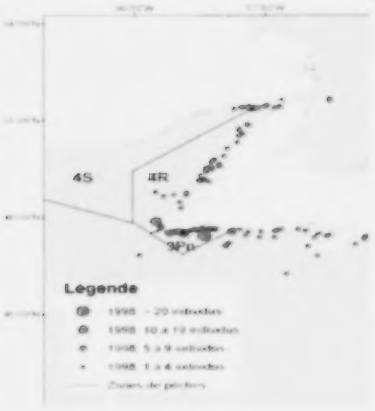
Acknowledgements

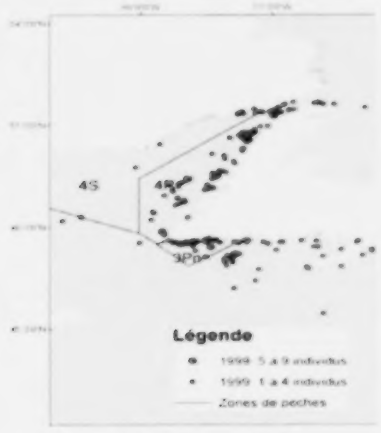
We wish to thank all sentinel fishermen, field coordinators as well as staff of the various sentinel programs for the tagging, recapture follow-up as well as for the keypunching of the Northern Gulf tagging program. Lastly, Martin Castonguay and Daniel Duplisea for the revision of this document.

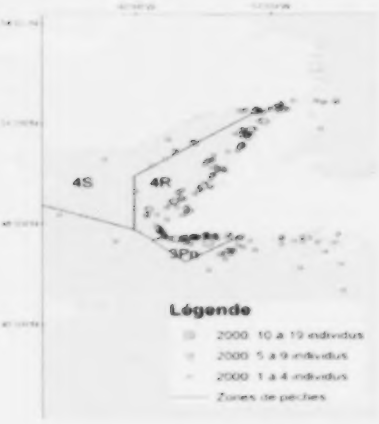
Annexe 1 : Cartes des recaptures, pour les années 1996 à 2007
Annexe 1: Maps of recapture positions from 1996 to 2007

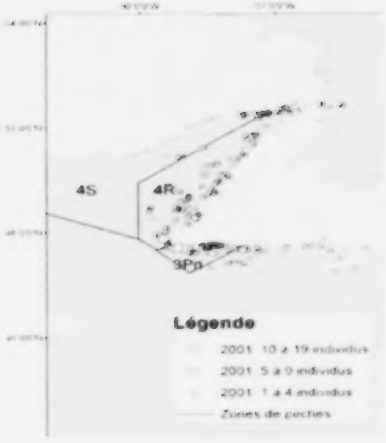


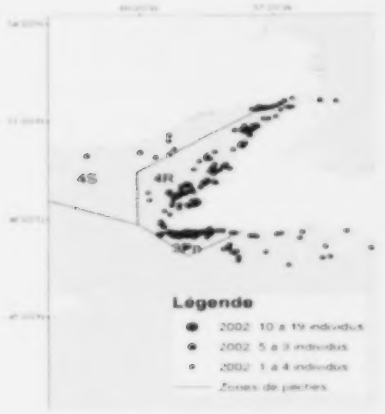


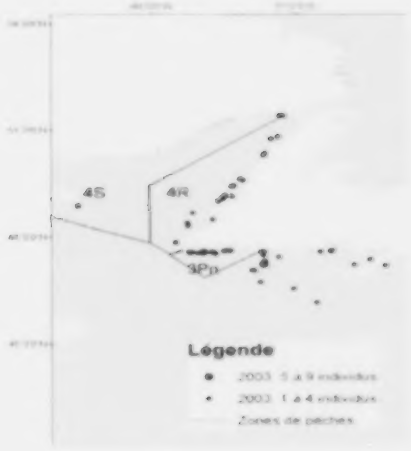


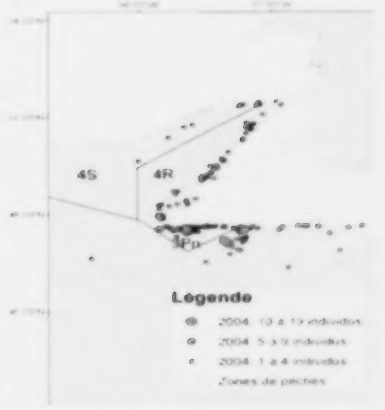


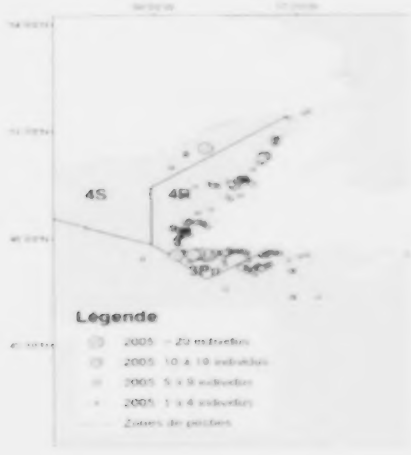


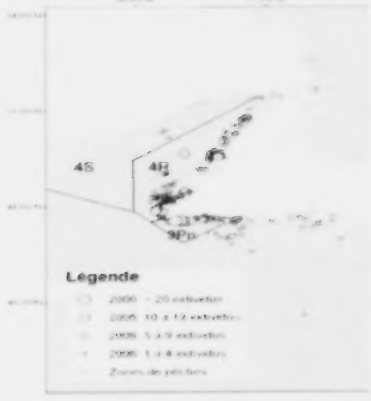


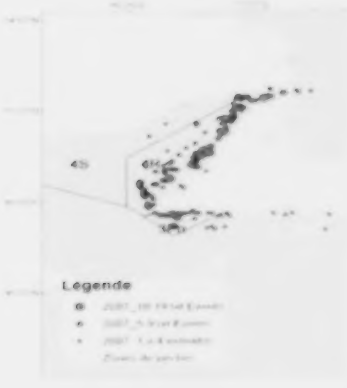

4S
4R
3Pn
Légende
2002 10 à 19 individus
2002 5 à 9 individus
2002 1 à 4 individus
Zones de pêches


4S
4R
3Pn
Légende
2003 5 à 9 individus
2003 1 à 4 individus
Zones de pêches


4S
4R
3Pn
Légende
2004 10 à 19 individus
2004 5 à 9 individus
2004 1 à 4 individus
Zones de pêches


4S
4R
3Pn
Légende
2005 10 à 19 individus
Zones de pêches

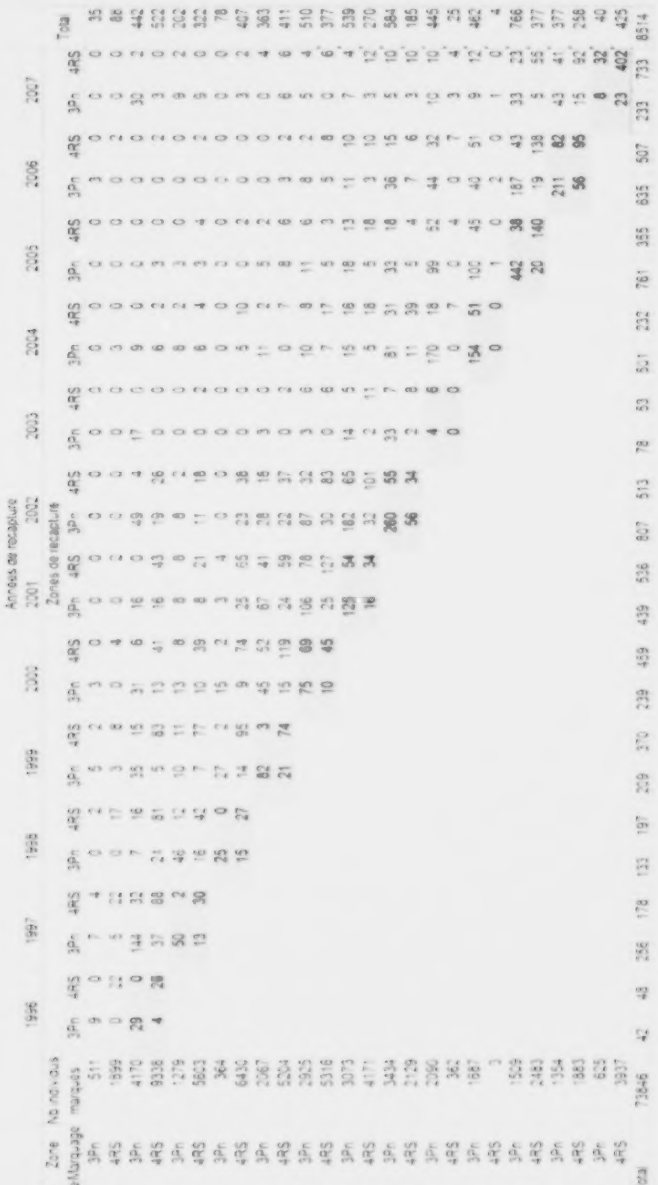

4S
4R
3Pn
Légende
Zones de pêches


4S
Légende

Annexe 2 : Tableau croisé du nombre corrigé de morues marquées et recapturées entre les années 1995 et 2007 dans le nord du golfe du Saint-Laurent, division ,4RS.

Appendix 2. Cross-tabulation table of the corrected number of tagged and recaptured cod between 1995 and 2007 in the Northern Gulf of St. Lawrence, Divisions 3Pn,4RS.

Année de marquage	Nb morues marquees	Année de recapture												Total
		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
1995	2410	33	35	22	18	7	2	0	0	3	0	5	0	125
1996	13508	59	396	139	149	92	78	94	14	15	3	3	31	1073
1997	6882	0	91	116	116	73	47	39	2	19	10	3	18	534
1998	6794	0	0	66	148	109	104	64	0	16	2	0	5	514
1999	7271	0	0	0	180	251	193	106	5	19	21	5	15	795
2000	8241	0	0	0	0	206	348	233	15	43	24	24	15	908
2001	7244	0	0	0	0	0	224	376	32	57	56	35	27	807
2002	5563	0	0	0	0	0	0	376	46	161	58	62	30	733
2003	2452	0	0	0	0	0	0	0	11	176	150	84	27	448
2004	1690	0	0	0	0	0	0	0	0	190	138	95	23	446
2005	3992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	606	390	124	1120
2006	3237	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	443	205	648
2007	4562	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	523	523
Total	73846	92	522	343	611	738	996	1288	125	699	1068	1149	1043	8674

Annexe 3 : Tableau croisé du nombre corrigé de morues marquées et recapturées entre les années 1995 et 2007 dans le nord du golfe du Saint-Laurent, division 3Pn et 4RS.

Appendix 3: Cross-tabulation table of the corrected number of tagged and recaptured cod between 1995 and 2007 in the Northern Gulf of St. Lawrence, Divisions 3Pn,4RS